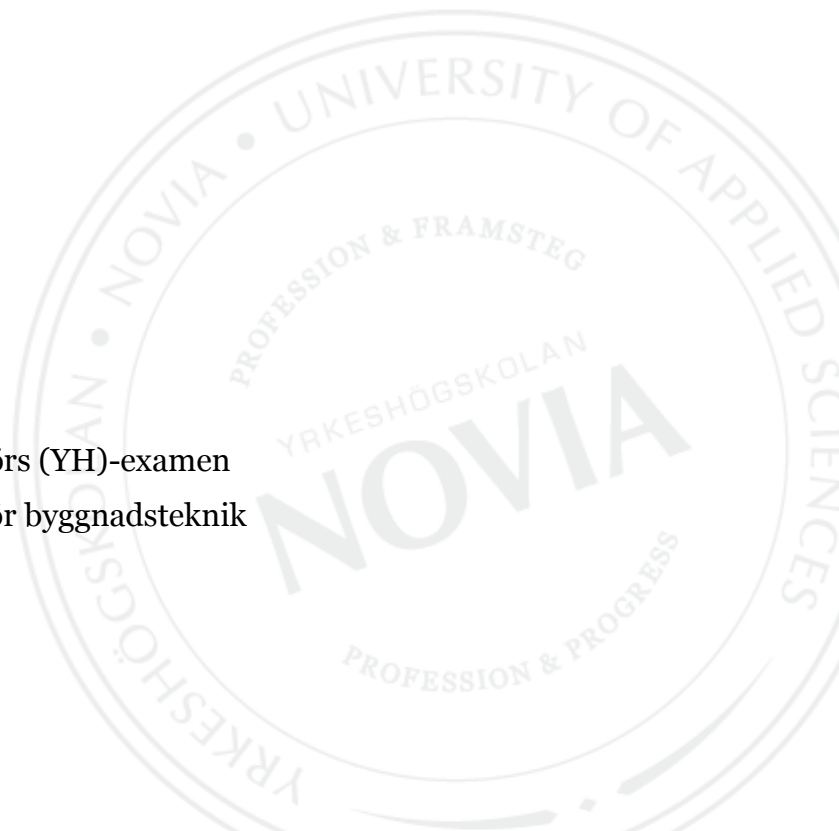


Dimensionering av grundsula enligt Eurokod

- Framtagande av visuellt dimensioneringsprogram

Ben Tuomela

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Ben Tuomela
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Byggnadskonstruktion
Handledare: Allan Andersson och Kenneth Grönroos

Titel: *Dimensionering av grundsula enligt eurokod*
- Framtagande av visuellt dimensioneringsprogram

Datum: 28.04.2015

Sidantal: 20

Bilagor: 4

Abstrakt

Målet med detta arbete är att ta fram ett användarvänligt och överskådligt dimensioneringsprogram med förklarande och dynamisk grafik. Detta för att underlätta dimensionering av grundsulor och för att minska risken för eventuella fel som kan uppstå vid dimensioneringstillfället. Ett enkelt program med en logisk uppställning och förklarande bilder ökar effektiviteten vid dimensionering och gör därmed det mer kostnadseffektivt.

Från och med 2007 har eurokoderna reglerat dimensioneringen för byggnadsverk. Däremot har olika företag tillämpat dessa i varierande grad.

Dimensioneringsprogrammet som utvecklats ska kunna dimensionera de vanligaste förekommande grundsulorna samt ligga till grund för mer avancerade grundläggningsalternativ.

Språk: svenska

Nyckelord: dimensionering, grundsula, EN1992-1, program

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Ben Tuomela
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu
Ohjaajat: Allan Andersson ja Kenneth Grönroos

Nimike: *Anturan mitoitusohjelma eurokoodien mukaan*
- *Visuaalisen mitoitusohjelman kehittäminen*

Päivämäärä: 28.04.2015

Sivumäärä: 20

Liitteet: 4

Tiivistelmä

Työn tavoite oli kehittää helppokäyttöinen ja havainnollinen mitoitusohjelma selkeällä ja täydellisellä grafiikalla. Tarkoituksena oli helpottaa anturan mitoitusta ja pienentää virheiden riskiä, jotka voivat syntyä mitoitushetkellä. Tietokoneohjelmassa on selkeät kuvat, se on nopea ja helppokäyttöinen, ja laskutuloksia voi seurata visuaalisesti kokoajan. Ohjelma nopeuttaa työskentelyä ja vähentää kustannuksia.

Vuodesta 2007 lähtien Eurokoodit ovat ohjanneet mitoitus- ja rakennustyötä. Yritykset käyttävät koodeja vaihtelevasti, toiset enemmän, toiset vähemmän.

Kehitetty mitoitusohjelma osaa mitoittaa yleisempiä anturoita. Sitä voi käyttää pohjana, kun lasketaan monimutkaisempia antura töitä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: mitoitus, antura, EN1992-1, ohjelmat

BACHELOR'S THESIS

Author: Ben Tuomela
Degree Programme: Construction Engineering, Vaasa
Specialization: Structural Design
Supervisors: Allan Andersson and Kenneth Grönroos

Title: *Dimensioning of foundation according to Eurocode*
- Development of graphical dimensioning software

Date: 28.04.2015 Number of pages: 20 Appendices: 4

Summary

The purpose of this work is to develop a user friendly and graphical dimensioning software with explicative and dynamic graphics. This software will simplify dimensioning of footings and reduce the risk of errors that can occur during design. A simple program with a logical layout and explicative images increases efficiency when designing and makes it more cost effective.

From 2007 the eurocodes have been regulating the dimensioning of building components in Finland. However, different companies apply these eurocodes to different extent.

The developed dimensioning program will further be able to design the most common footings and form the basis for more advanced foundation options.

Language: Swedish Key words: dimensioning, foundation, EN1992-1, software

Innehållsförteckning

1. Allmänt	1
1.1 Inledning	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Uppdragsgivare.....	2
1.4 Metod.....	2
1.5 Avgränsning	3
2. Geotekniska rapporter	3
2.1 Grundundersökning	3
2.2 Grundundersökningens innehåll	4
3. Grundsulor	5
3.1 Typer av grundsulor	5
3.2 Armering.....	7
3.3 Betong.....	8
4. Dimensionering enligt eurokoder	10
4.1 EN 1990: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk	10
4.2 EN 1991: Laster på bärverk.....	11
4.3 EN 1992: Betongkonstruktioner	11
4.4 Analys av betongbärverk	12
4.5 EN 1997: Geokonstruktioner.....	12
5. Dimensioneringsprogrammet	13
5.1 Programmets utformning.....	13
5.2 Inmatningsdata	14
5.3 Beräkningsgång	15
5.3.1 Kontroll mot bottentryck	15
5.3.2 Dimensionering mot stjälpning	16
5.3.3 Dimensionering mot glidning.....	16
5.3.4 Dimensionering mot moment	17

5.3.5	Dimensionering mot skjuvning	17
5.3.6	Dimensionering mot genomstansning	17
5.3.7	Kontroll av sprickning	18
5.3.8	Förankring av armering	18
5.4	Sammanställning av dimensionering.....	18
6.	Sammanfattning och diskussion.....	19
7.	Källförteckning	20

Bilagor

Bilaga 1	Bild över inmatningsfliken för programmet
Bilaga 2	Programmets beräkningsgång utförd i Mathcad
Bilaga 3	Bild över printfliken för programmet
Bilaga 4	Jämförelse och utvärdering

1. Allmänt

Detta examensarbete på yrkeshögskolenivå har utförts åt Contria i Vasa. Under hösten genomförde jag min företagsförlagda utbildning på företaget och samtidigt diskuterades olika alternativ till examensarbeten. Eftersom arbetstakten varit hög på företaget de senaste åren har ingen i personalen haft tid till att förbättra och göra lämpliga programtillämpningar för att underlätta dimensionering av olika byggnadskomponenter. Utifrån diskussionerna på Contria bestämdes det att en företagsanpassad Excel-tillämpning som dimensionerar grundsvulor skulle utarbetas.

Huvudsyftet med examensarbetet var att ta fram en tillämpning som är användarvänlig och som dimensionerar enligt eurokoden som idag gäller för dimensionering av bärverk. Textdelen av arbetet är främst en redogörelse över hur eurokoden reglerar dimensioneringen, men innehåller samtidigt även en kort del som beskriver själva Excel-tillämpningen.

1.1 Inledning

För att underlätta handel med byggprodukter och för att möjliggöra jämförelser togs ett första initiativ till eurokod 1975. (EN 1990, s.5) Eurokoder togs däremot i allmänt bruk först 2007 och motstridande nationella standarder upphävdes i mars 2010. Detta eftersom den nationella bilagan till eurokoden då blev färdig och tillämpad. (Miljöministeriet)

1.2 Syfte och mål

Målet med arbetet är att ta fram en Excel-tillämpning som ska underlätta dimensionering av pelarsulor och väggsulor enligt eurokoder. Beställaren har i nuläget inget lämpligt program för detta, samtidigt som de flesta program bygger på de gamla byggbestämmelserna i Finland. Programmet som utvecklas ska vara användarvänligt samt ha en förklarande grafik så att man på ett överskådligt sett ser vad man räknar ut. Ett tydligt och enkelt program gör att dimensioneringen blir effektiv och på det sättet även mer kostnadseffektiv. Programmet ska kunna dimensionera de vanligaste förekommande typerna av grundsvulor.

1.3 Uppdragsgivare

Uppdragsgivare för detta arbete är Contria, som har sitt huvudkontor i Vasa men också ett mindre kontor i Seinäjoki. Contria är uppbyggt i tre olika segment. Dessa är RAK avdelningen som står för konstruktionsplanering, RAP som står för projektledning och kostnadsstyrning, samt RAF som gör byggnadsfysikaliska undersökningar och planeringar. Contria har i nuläget ett 30-tal anställda och huvudinriktningen är främst betong- och stålkonstruktioner. Företagets marknadsområde är hela Finland samt kringliggande länder såsom Sverige och Norge. Som exempel på utförda projekt har Contria planerat och dimensionerat en del av stålkonstruktionen till Mall of Scandinavia.

Contria använder idag program för dimensionering av grundsulor som bygger på Finlands byggbestämmelsesamling. Företaget försöker helt övergå till att dimensionera enligt eurokoder för att hålla sig till samma standarder som används i övriga Europa. Contria deltog i det landsomfattande SKOL (Suomen konsulttitoimistojen liito) -projektet där man tog fram dimensioneringsbottnar som följde eurokod, men företaget har aldrig tagit i bruk just det program som dimensionerar grundsulor. Efter diskussioner om varför SKOL-projektets dimensioneringsprogram inte används för dimensionering av grundsulor så beslöts det att jag i mitt examensarbete ska ta fram en Excel-tillämpning som ska vara användarvänligt och använda sig av dynamiska bilder som ritar de grundkonstruktioner som dimensioneras. Detta för att underlätta dimensioneringen av grundsulor samt för att minimera risken för eventuella fel vid dimensionering.

1.4 Metod

Vid dimensionering av grundsulor behövs en god insikt i hur planering av grundsulor utförs enligt eurokod 2 (EN1992-1-1), hur den samverkar med marken enligt eurokod 7 (EN1997-1) och hur man beaktar grundundersökningsrapporten. En jämförelseberäkning har utförts i *Mathcad* som får fungera som facit för att kontrollera så att programmet räknar rätt. En jämförelse har även gjorts emot det gamla dimensioneringsprogrammet för ett se om stora variationer uppstår. Själva programmet som utvecklas är en Excel-tillämpning som har gjorts användarvänlig och lättförståelig. Detta har uppnåtts genom tester och intervjuer med användarna för att på detta sätt hitta en så att säga ”optimal design” för programmet.

1.5 Avgränsning

Avgränsningen för detta arbete är att endast armerade sulor som är kvadratiska eller rektangulära kan dimensioneras. Dimensioneringen av dessa sulor utförs också enbart på välldränerade friktionsjordar. Laster som programmet dimensionerar mot är både negativt och positivt moment i både x- och y-led, horisontella krafter i båda leden samt en normalkraft som befinner sig i jämviktscentrum. Därtill ville man från Contrias sida att det även skulle finnas en möjlighet till att placera in en tilläggslast som är flyttbar över hela sulans yta i nivå med överkantsula.

2. Geotekniska rapporter

En plan över hur grundläggningen bör utföras, det vill säga en geoteknisk rapport, ska alltid uppgöras så att man kan undvika markbrott eller överstora sättningar. Nedan följer en kort beskrivning av vad som krävs från grundundersökningen, samt vilken typ av dokumentation som behövs för att utföra en lyckad dimensionering.

2.1 Grundundersökning

Enligt eurokoden ska det alltid utföras en markundersökning på det område där en ny byggnad ska uppföras. Resultatet av grundundersökningen ska redovisas i en rapport som vidarebefordras till berörda parter inom byggnadsprojektet. (EN1997-1, 3.1)

Grundundersökningar kan utföras på olika sätt och beräkningen av markens bärighet kan fastställas genom fyra olika metoder. Dessa punkter beskrivs grundligare i avsnitt 4.6. Grundundersökningar utförs oftast med någon typ av sondering. Olika typer av sonderingsutrustning finns, men markens egenskaper bestämmer oftast vilken typ som lämpar sig för det område som ska undersökas.

2.2 Grundundersökningens innehåll

Grundundersökningsrapporten bör normalt omfatta följande punkter. Detta enligt eurokod 7 (EN1997-1:2004, 2.8)

- En redogörelse av platsen och omgivningen.
- En redogörelse av de markförhållanden som förekommer.
- En redogörelse av den föreslagna konstruktionen, inklusive åtgärder.
- Värden för jord- och bergparametrar inklusive motivering i förekommande fall.
- Koder och normer som tillämpas.
- Platsens lämplighet med avseende på den föreslagna konstruktionen och nivån på godtagbara risker.
- Geotekniska konstruktionsberäkningar och ritningar.
- Rekommendationer för grundkonstruktionens utformning.
- Punkter som ska kontrolleras under byggtiden och underhåll som krävs samt vilken typ av övervakning. Detta ifall markens egenskaper ändrar eller kan komma att ändra t.ex. grundvattenytans läge.
- Grundundersökningsrapporten ska innehålla en plan över vilken typ av övervakning och kontroll som är lämplig. Poster som kräver kontroll under byggtiden eller som kräver underhåll efter byggandet ska identifieras tydligt. När de nödvändiga kontrollerna har genomförts under byggtiden, ska de redovisas i ett tillägg till rapporten.

När det gäller tillsyn och övervakning bör grundundersökningsrapporten innehålla:

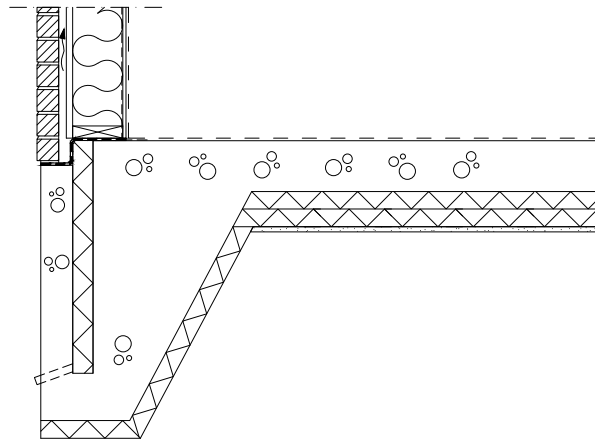
- Syftet med varje uppsättning av observationer eller mätningar.
- De delar av konstruktionen som ska övervakas och de platser där observationer ska göras.
- Hur ofta avläsningar ska göras. Sättet resultaten ska tolkas.
- Inom vilken sträckning värden är att vänta.
- Tidsperioden som övervakningen fortsätter efter att konstruktionen är klar.
- Parter som ansvarar för att göra mätningar och observationer, tolka resultaten och upprätthållandet av instrumenten.
- Ett utdrag ur grundundersökningsrapporten innehållande tillsyn, övervakning och underhåll samt krav för den färdiga strukturen, ska lämnas till ägaren/klienten.

3. Grundsulor

Grundsulor har som uppgift att fördela och föra ned lasterna från den ovanomliggande byggnaden till undergrunden. Detta ska ske utan att det uppstår sättningar i grunden som blir så stora att bärverkets funktion nedsätts.

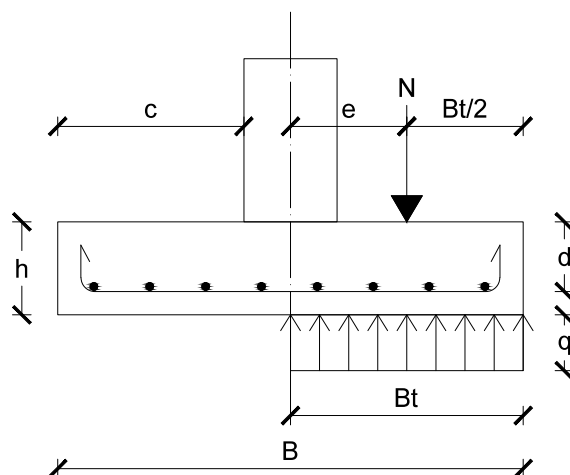
3.1 Typer av grundsulor

Grundsulor kan konstrueras på olika sätt, vid mindre byggnader är det vanligt att man använder sig av kantförstyvade plattor, *se figur 1*. Vilket innebär att själva golvet i byggnaden fungerar som grund och golvet fördelar lasten. Denna metod kan också användas vid sämre markförhållanden eftersom man får en relativt stor yta som fördelar lasten, vilket leder till ett litet marktryck.



Figur 1. Kantförstyvad platta.

Väggsulor eller långsträckta sulor används vid de flesta typer av byggnationer där man har väggar eller socklar som ligger på grundkonstruktionen. Dessa är bra då endast små moment uppkommer i grundkonstruktionerna. För sulor gäller att excentriciteten (e) av de ovanomliggande lasterna inte överskrider $B/3$ enligt *figur 2* nedan.



Figur 2. Väggsulans beteckningar.

Pelarsulor är det mest allmänt förekommande grundläggningsalternativet vid hallbyggnader och höghus som är byggda av olika ramkonstruktioner. Största skillnaden på höghus och hallbyggnader finns i sättet man förstyrkar byggnaden. I hallbyggnader är det vanligt med fastinspända mastpelare som gör att stora moment uppkommer i grundkonstruktionerna. Detta går att undvika med olika förstyrkningar, men man använder sällan sådana eftersom detta begränsar en halls användningsändamål i avseende för eventuell utbyggnad. I höghus tar ofta de brandavskiljande väggkonstruktionerna och hisschaktet emot alla sidokrafter så att minimalt med moment uppkommer i pelaranslutningarna. Detta leder till att grundsulorna kan göras mindre eftersom pelarens moment blir litet och så också stjälpningsrisken. Allmänna krav för grundsulor är att minsta grundläggningsdjup är 0,5 m, minsta bredd på en kontinuerlig sula är 0,3 m samt minsta storlek på en pelarsula är 0,4 x 0,4 m. (RIL 207-2009, s.99)

Programmet som utvecklas i detta arbete utgår ifrån att man ska kunna dimensionera alla de vanligast förekommande sulorna. Detta innebär att både väggsulor och pelarsulor ska kunna dimensioneras i samma program.

3.2 Armering

Markbärande grundsulor kan utföras som armerade eller oarmerade. Oarmerade sulor används vid mindre byggnader där belastningarna inte är så stora. (Betongkonstruktion s.248) Det som begränsar dessa sulor är betongens draghållfasthet vilken är ganska liten för betong. Höjden bestäms så att böjdragspänningen inte överskrider och detta med marginal eftersom kapaciteten är direkt beroende av detta. Detta begränsar utkragningsmåttet till sidan så de blir olönsamma när en bredd av 800 mm överskrider. Långsträckta sulor behöver försees med längsgående armering vilket fungerar som fördelningsarmering i de fall där marken exempelvis har ojämn bärighet eller grundmuren belastas med pelare. Användningen av fiberbetong har gjort det mera attraktivt att utföra grundkonstruktioner utan traditionell armering, men detta beaktas inte i detta arbete.

Armeringen i grundsulor är oftast traditionellt kamstål av typen A500HW eller B500B, men användningen av höghållfastarmering eller rostfri armering förekommer också, dock skiljer sig inte dimensioneringen åt för de olika stålen utan endast stålets specifika hållfasthetsegenskaper ändrar.

Nedan följer de armeringsjärn som används i Finland samt vilken standard de olika armeringstyperna tillhör för att erhålla CE-märkning. (RIL 202-2011 s.23)

- SFS 1215 A500HW
- SFS 1216 A700HW
- SFS 1257 B500K
- SFS 1259 B600KX
- SFS 1268 B500B
- SFS 1269 B500C1

För normalt kamstål av kvaliteten A500HW används storlekarna 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, och 32 mm (EN10080, s.19) i armerade betongkonstruktioner och vid användning av rostfri armering används oftast armering av typen B600KX med diameter 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 och 12 mm.(SFS 1259, s.5)

Beteckningars betydelse för armering:

1. Bokstaven ⇔
 - A = Varmvalsad
 - B = Kallbearbetad
2. Hållfasthetsklass exempelvis 500 ⇔ 500 MPa
3. Tilläggskod ⇔
 - H = Kamstål vid varmvalsning
 - K = Kamstål vid kallbearbetning
 - W = Svetsbar
 - X = Rostfri
 (Valmisbetoni.fi)

Kodningen behöver nödvändigtvis inte berätta hur stålen är tillverkade. Detta på grund av att man i Finland fortfarande använder en kodning som inte motsvarar kodningen i övriga Europa eller enligt EN 10080 och en blandning mellan de olika kodningarna kan förekomma.

Beteckningars betydelse för armering enligt EN 10080: (by211, s.53)

1. Bokstaven B ⇔ Armeringsstål
2. Hållfasthetsklass exempelvis 500 ⇔ 500 MPa
3. Seghetsklass A, B eller C
4. Tilläggskod, ifall produkten är en annan än basprodukterna

3.3 Betong

Betong indelas i tre olika konstruktionsklasser. Dessa är 1, 2 och 3 varav klass 2 är den mest använda. Beteckningen på betong skrivs oftast som C25/30-2. (BY50, s.97) Betongen ska uppfylla kraven som ställts i SFS-EN 206-1 samt Nationella bilagan.

Beteckningars betydelse för betong:

1. C25 ⇔ Cylinderhållfastheten 25 MPa för den valda betongen
2. 30 ⇔ Kubhållfastheten 30MPa
3. 2 ⇔ Konstruktionsklassen

Betongen består av sex olika delämnena som alla styrs av olika standarder, de olika delarna är följande:

- a) Cementtyp och mängd av cement beroende av korrosivitetsklass
- b) Ballast ska vara CE märkt och följa SFS-EN 12620
- c) Blandämnena ex. Flygaska, olika ämnen regleras av egna standarder men alla ämnen ska vara CE märkta
- d) Vatten ska i allmänhet ha en kloridhalt under 0,03 av viktprocenten
- e) Tillsatsämnen, tillsätts för att ändra på betongens egenskaper. Dessa ska vara CE märkta
- f) Övriga tillsatser ex. fiberarmering

Genom olika blandningsförhållanden (recept) kan betongens egenskaper varieras. Beroende på omgivningens aggressivitet sker indelningen i olika exponeringsklasser. (EN 206-1, s.18)

X0	Exponeringsklass utan risk för korrosion eller angrepp
XC1 - XC4	Exponeringsklasser vid risken för korrosion p.g.a. av karbonatisering
XD1 - XD4	Exponeringsklasser vid risken för korrosion p.g.a. av klorider andra än från havsvatten
XS1 - XS3	Exponeringsklasser vid risken för korrosion p.g.a. av klorider från havsvatten (= saltvatten)
XF1 - XF4	Exponeringsklasser vid risk för frysning och tining
XA1 - XA3	Exponeringsklasser vid risk för kemisk påfrestning

Konsistensen på betong kan testas på olika sätt. Beroende av vald metod har man olika beteckningar för konsistensen.

S1 - S5	Konsistensklasser utgående från sättkon enl. EN 12350-2
C0 - C4	Konsistensklasser utgående av kompakterbarheten enl. EN 12350-4
F1 - F6	Konsistensklasser utgående från utbredningsdiameter enl. EN 12350-5
SF1 - SF3	Konsistensklasser utgående från utbredning för självkomprimerande betong enl. EN 12350-8
sVB	Konsistensklasser utgående från deformationstiden i sekunder. Denna metod används främst för styvare betongmassor.

4. Dimensionering enligt eurokoder

Eurokoderna har tagits fram för att harmonisera den interna handeln inom Europa. På detta sätt har också upphandling och kvaliteten på konstruktionsplaneringen standardiserats och en mera likartad marknad skapats. I större projekt där flera företag är inblandade så blir samverkan mellan aktörerna också effektivare när man använder sig av samma grundförutsättningar. Eurokoderna är gemensamma för hela Europa men man har gett utrymme för länderna att i vissa fall använda andra metoder eller parametrar vid dimensionering för att underlätta tillämpandet av eurokoderna samt för att kompensera för klimatskillnader och dylikt. Dessa är de nationella bilagorna eller National Annex som i Finland hittas på samma ställe som Finlands byggbestämmelsesamling på miljöministeriets hemsidor.

4.1 EN 1990: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk

EN 1990 beskriver principerna gällande säkerhet, brukbarhet och beständighet hos bärande konstruktioner. Normen beskriver också grunderna för dimensionering och verifiering samt vägledning i frågor gällande säkerheten för bärverk. (SFS-EN1990, 1.1). Vid dimensionering görs skillnader i bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd. Detta utförs med hjälp av olika partialkoefficienter beroende på byggnadstyp och användningsändamål. Även olika kombinationer av yttre laster ska beaktas. (SFS-EN1990, 3.1)

Bärverk ska utföras så att de under sin avsedda livslängd motstår alla de krafter som sannolikt uppkommer samt att de förblir brukbara för den användning de är utformade för. Detta beaktas med hänsyn till bärförmåga, brukbarhet och beständighet. Vid brand ska bärförmågan vara sådan att konstruktionen klarar av belastningen inom angiven tid. Man ska även beakta olika olyckslaster såsom explosion, påkörning och andra konsekvenser av mänskliga misstag. Alla tänkbara skador ska begränsas eller elimineras genom val av olika material och konstruktionstyper som kan vara mindre känsliga. Bärverk behöver bete sig segt så att konstruktionen vid eventuell kollaps hinner förvarna användarna. Detta innebär att byggnaden varnar människorna genom att sprickor börjar synas i konstruktionerna. (SFS-EN 1990, 2.1)

4.2 EN 1991: Laster på bärverk

Eurokoden känner till två olika typer av laster, dessa är egenvikt och nyttig last. Egenvikten är en permanent bunden last alltså egenvikten av konstruktionerna. Ifall egenvikten kan variera bör detta beaktas genom användning av minsta och största karakteristiska värde för egenvikten. Detta kan till exempel vara flyttbara skiljeväggar eller motsvarande. Laster av fyllnadsmassor och terrasser räknas också till egenvikten. Egentyngden av de bärande konstruktionerna och de icke bärande konstruktionerna bör betraktas som en enda last vid dimensionering. Man behöver också beakta eventuella egenvikter för nya ytskikt eller installationer som kan tillföras efter byggnadens uppförande.

Nyttolasten klassas som variabel fri last, vilket betyder att all last som påförs konstruktionen efter färdigställning hör till denna klass. Till detta hör vistelselast av människor, möbler och utrustning men även vind och snölast. (SFS-EN 1991-1-1, kap.2)

4.3 EN 1992: Betongkonstruktioner

Vid dimensionering av betongkonstruktioner ska de grundläggande reglerna i EN 1990 samt EN 1992 uppfyllas, vilka gäller tillförlitlighet, avsedd livslängd, beständighet och kvalitetsledning. Laster som betongkonstruktionerna dimensioneras emot hämtas ur EN 1991 samt EN 1997 för last av jord- och vattentryck. (SFS-EN1992-1-1, 2.1) Under betongens planerade användningstid kommer deformationer av konstruktionen att ske. Dessa deformationer uppstår på grund av temperatur, krympning och krypning. Inverkan av dessa effekter beaktas genom att använda lämplig betongmassa, minimera deformationer och sprickbildning. Man ska också minimera tvångskrafter i konstruktionerna med hjälp av lager eller fogar. Inverkan av krympning och temperatur kan försummas förutsatt att fogar anordnas för att jämna ut deformationerna. Platsgjutna konstruktioner behöver mera fogar än förtillverkade element, detta eftersom en del av deformationerna ägde rum före sammansättningen av konstruktionsdelarna för de förtillverkade elementen. (SFS-EN1992-1-1, 2.3.3) I Eurokoden finns speciella tilläggskrav på grundkonstruktioner, dessa berättar att om samverkan mellan undergrund och bärverk har en betydande inverkan så ska undergrundens egenskaper och samverkan beaktas i enlighet med EN 1997-1 och om betydelsefulla sättningsskillnader förekommer

behöver deras inverkan på lasteffekterna i bärverket kontrolleras. Grundkonstruktionens storlek bör bestämmas enligt EN 1997-1. (SFS-EN1992-1-1, 2.6)

4.4 Analys av betongbärverk

Analys av bärverk utförs för att bestämma de inre krafternas fördelning och moment, detta utförs för att bestämma bärförmågan för den aktuella konstruktionen. Lokalanalys utförs i de snitt där linjär töjningsfördelning inte förekommer detta kan vara: närheten till upplag, intill koncentrerade laster, skärningspunkter mellan pelare–balk, förankringszoner eller tvärsnittsförändringar. Analys av bärverk ska göras genom idealisering av geometrin och funktionssätt för bärverket. Idealiseringen ska vara anpassad för det aktuella problemet. För plattgrundläggning får man använda förenklade modeller för samverkan mellan undergrund och bärverk men om samverkan mellan undergrund och bärverk har betydande inverkan på lasteffekterna i bärverket ska undergrundens egenskaper och samverkan beaktas enligt EN 1997-1. (SFS-EN1992-1-1, 5.1)

4.5 EN 1997: Geokonstruktioner

Vid dimensionering enligt eurokod 7 ska för varje enskild dimensioneringssituation verifieras så att undergrunden klarar av de uppkommande lasterna från överbyggnaden. (EN1997-1, 2.1)

Undergrundens bärrighet ska verifieras av en eller en kombination av följande metoder:

- Genom beräkning enligt EN 1997-1, kap. 2.4
- Genom antagande av föreskrivna åtgärder enligt EN 1997-1, kap. 2.5
- Genom experiment och belastningstester enligt EN 1997-1, kap. 2.6
- Genom observation, såsom beskrivs i EN 1997-1. kap. 2.7

För att fastställa de geotekniska kraven har tre olika geotekniska klasser tagits fram. Dessa är 1, 2 och 3 varav klass 1 är den enklaste och minst krävande klassen och klass 3 den mest krävande. I klass 1 kan konstruktionsplaneraren utföra den geotekniska planeringen medan i klass 3 krävs en skild geoteknisk planerare. I klass 2 ger geoteknikern värden för markens

egenskaper och konstruktionsplaneraren beaktar sedan dessa gränsvärden. (Sulor och Pålplattor, s.3)

Vid geoteknisk dimensionering finns tre olika metoder. Dessa är DA1, DA2 och DA3.(EN 1997-1-1, s.32) I Finland används dock endast metod DA2 och DA3. Metod DA2 är även indelad i två olika dimensioneringstyper. I DA2 multiplicerar man på säkerhetskoefficienter för excentricitet i början av dimensioneringsförfarandet och i dimensioneringssätt DA2* i slutet av dimensioneringsförfarandet. Metod DA2 och DA2* används för dimensionering av plint-, platt- och pålgrunder, förankringar och stödkonstruktioner. Vid dimensionering mot stabilitet används metod DA3.(Na(Fi), bilaga 18, s.3, SFS-EN1997-1)

5. Dimensioneringsprogrammet

Dimensioneringsprogrammet är en Excel-tillämpning med en förklarande design, tydliga bilder och en logisk uppställning. Detta ska underlätta dimensioneringen av grundsulor för byggnader samt minska risken för eventuell feltolkning.

5.1 Programmets utformning

Designen och användarvänligheten har varit av stor betydelse i detta arbete. Därför har mycket tid lagts på att göra en lättöverskådlig och enkel design över programmet. Programmet är uppbyggt så att all input data ska rymmas på en sida och följa ett flödesschema så att man inte behöver gå bakåt och ändra någonting i efterhand. För att göra programmet mera överskådligt har två bildgeneratorer byggts som ritat bilden på det aktuella dimensioneringstvärnsnittet för grundkonstruktionen som finns synligt på samma sida som inmatningsdata, detta för att undvika eventuell fel vid inmatningen av data.

Excel-tillämpningens uppbyggnad enligt följande:

- Inmatning
- Bildgenerator som beräknar x- och y-koordinater till graferna som ritat bilderna.
(denna flik döljs)
- Kalkylator som utför själva dimensioneringsberäkningen

- Datasida för standardval och koefficienter ur EC till inmatningssidan samt utrymme för inmatning av egna valmöjligheter i tabeller.
- Printsida där beräkningar och data sammanställs för redovisning

För att undvika att programmets funktion eller beräkningsgång inte ska gå att ändra kommer de flesta celler att låsas så att en ändring inte är möjlig utan tillgång till lösenord.

5.2 Inmatningsdata

Startsidan för dimensioneringen är den viktigaste sidan i detta arbete eftersom den ska ge känslan av att det är ett enkelt program som alla kan använda oberoende om skolning her getts i dess funktion eller inte. Framsidan har framtagits med hjälp av olika modeller som presenterats för användarna och ändringar har utförts från deras kommentarer för att få en enkel och logisk uppställning av dokumentet. Inmatningsfliken kan ses i bilaga 1.

Uppställning av framsida samt olika funktioner i de olika delarna enligt följande:

1. Inmatning av kund- och projektuppgifter, tidpunkt för dimensionering och vem som utför dimensioneringen.
2. Inmatning av data för konstruktionens material och exponeringsklasser. Dessa väljs ur rullgardinsfönster ur databas, detta för att få programmet att själv välja lämpligt skyddsskikt för armering enligt gällande krav.
3. Inmatning av gränsvärden från grundundersökningsrapporten. Här skrivs tillåtet bottenstryck in samt typ av dimensioneringsmetod väljs och till sist val av den geotekniska klassen för projektet.
4. Inmatning av verkande laster samt position på grundkonstruktionen i både bruks- och brottgränstillstånd, dessa belastningar fås från lastnedräkningen för det aktuella projektet som utförs med annat program.
5. Sulans geometri bestäms samt grundpelarens placering på grundsulan i x-led.
6. Bestämning av huvudarmering samt vilken typ av förankring detta väljs från databas i rullgardinsfönster. En funktion som räknar ut minimiarmerings mängd tillämpas här så att man direkt kan mata in rätt armeringsmängd för det aktuella dimensioneringstvärnittet.

7. Grundpelarens geometri bestäms. Ifall ingen grundpelare finns använder man elementbalkens effektiva upplagsyta. Man kan även dimensionera väggsulor med programmet i detta fall dimensioneras en strimla av en meter och grundpelaren ska då ha samma bredd som sulan.
8. Inmatning av sulans grundläggningsdjup samt fyllnadsmaterialens densitet. Detta läggs in för att kunna utnyttja de stabiliserande krafter som fås av ovanliggande fyllnadsjord.
9. Bildgeneratorer som ritar det aktuella dimensioneringstvärsnittet samt visar lasternas verkningspunkter.
10. Kontroller har byggts in i inmatningssidan som ska varna ifall felaktigheter matats in i dokumentet.

5.3 Beräkningsgång

Kalkylatorn som byggts för att utföra dimensioneringsberäkningen har byggts enligt uppställningen i underrubrikerna. Denna finns som en kontinuerlig slinga i ett blad i Excel-tillämpningen. I bilaga 2 finns hela räknaren redovisad så detaljer finns inte i texten utan endast de mest väsentliga kraven.

5.3.1 Kontroll mot bottentryck

Eftersom företaget inte är intresserade av fördjupningar i geotekniken utan får det tillåtna bottentrycket i brottgränstillstånd (P_{Rd}) för grundläggning som direkta värden ur grundundersökningsrapporten behöver man inte beräkna bärighetsresistansen R/A' . På detta sätt behövs endast sulans effektiva yta beräknas och rätt värde väljs ur grundundersökningsrapporten. Sulans effektiva yta beror på val av dimensioneringsmetod som är DA2 eller DA2*.

Kravet: $V_d \leq R_d$ ska uppfyllas

Där:

R_d är markens bärighet i enlighet med EC 1997-1, kap. 2.4

V_d är det uppkommande bottentrycket av vertikallasternas summa

5.3.2 Dimensionering mot stjälpning

Om stora excentriciteter eller moment uppkommer på grundkonstruktion blir det aktuellt att kontrollera att sulan inte stjälpas. Vid dimensionering emot stjälpning finns inga direkta beräkningsgrunder utan man har fastslagit att excentriciteten får vara max 1/3 av sulans bredd. (EN 1997-1, 6.5.4)

5.3.3 Dimensionering mot glidning

Vid stora vågräta krafter på grundkonstruktionen kan man bli tvungen att kontrollera sulans glidningsmotstånd. Denna kraft upptas ofta av det markliggande golvet eller av de förstyvande väggarna i ett hus men ifall dessa inte finns bör påvisas att grundkonstruktionen har ett tillräckligt stort glidmotstånd.

Kravet: $H_d \leq R_d + R_{p;d}$ ska uppfyllas

Där:

H_d är resultanten av alla vågräta laster

R_d är dimensionerande glidmotstånd

$R_{p;d}$ är Passivt jordtryck enl. RIL 207-2009, s.108 denna term används inte i Finland.

Vid dränerade torra förhållanden fås R_d ur:

$$R_d = (V'_d \tan \delta_k) / \gamma_{R;h}$$

Där:

V'_d är dimensionerande effektiv vertikallast

δ_k är friktionsvinkel på fyllnadsmaterialet

$\gamma_{R;h}$ är glidningskoefficient, oftast 1,1

5.3.4 Dimensionering mot moment

Vid dimensionering emot moment används samma teorier som för betongbalkar. Dimensionering sker i brottgränstillstånd och bottenstrycket ses som en jämt utbredd last. Kritiska snittet för grundsulor hittas i samma linje som grundpelarens ytterkant när sulan och grundpelaren är anslutna vid platsgjutning så att en god samverkan uppnås. Vid användning av elementväggar eller elementpelare hittas kritiska snittet för moment rakt under elementets centrumlinje eftersom en tillräckligt god samverkan inte uppnås vid fogning av dylika konstruktioner. (Sulor och Pålplattor, s.8) Av ekonomiska orsaker använder man sig endast av dragarmering i markliggande grundsulor. På grund av detta dimensioneras konstruktionen som ett enkelarmerat tvärsnitt.

Kravet: $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ ska uppfyllas.

5.3.5 Dimensionering mot skjuvning

Vid val av sulans höjd är det ofta skjuvkapaciteten eller genomstansningskapaciteten som är avgörande. I grundsulor används inte skjuvarmering eftersom detta inte skulle vara ekonomiskt lönsamt. Kritiskt snitt för skjuvkraften hittas på avstånd d (= sulans effektiva höjd) från grundpelarens kant.

Kravet: $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ ska uppfyllas (EN 1992-1-1, 6.2.2)

5.3.6 Dimensionering mot genomstansning

Genomstansning utförs fortfarande enligt Finlands byggbestämmelsesamling B4 "Betongkonstruktioner anvisningar" enligt den nationella bilagan. Detta på grund av att vissa motstridigheter uppkommit och eurokoden ger kapaciteter som är på osäkra sidan. (Na(Fi), Bilaga 7, SFS-EN1992-1-1). Kritiska snittet för genomstansning hittas på avståndet, sulans höjd (d) dividerat med två från grundpelarens ytterkant. Genomstansningskraften som sulan dimensioneras emot definieras av det bottenstryck som befinner sig på avstånd d ifrån grundpelarens kant.

Kravet: $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ ska uppfyllas

5.3.7 Kontroll av sprickning

Kontroll av sprickrisk utförs i brukstillstånd för sulan. Sprickning kontrolleras genom beräkning av kritiskt moment som man sedan jämför med moment som uppstår i det kritiska snittet. Ifall sprickning förekommer för det aktuella tvärsnittet kommer programmet att beräkna sprickvidden enligt EN 1992-1-1, kapitel 7.3.4.

Enligt nationella bilagan har inte sprickvidden någon inverkan på beständigheten i konstruktioner som utförs i exponeringsklasserna X0 och XC1. En gräns har dock satts för att säkerställa ett godtagbart utseende. Sulor tillhör normalt exponeringsklass XC2, vilket är en mera krävande miljö och sprickvidden begränsas till 0,2 mm. Grundsulor utförs i allmänhet så att sprickning inte sker detta på grund av deras form, eller relativt höga höjd i förhållande till utkragningsmått.

5.3.8 Förankring av armering

Vid förankring av armering bestäms dragkraften med hjälp av jämviktsekvationer som beaktar inverkan av lutande sprickor. Om förankringslängden inte räcker till kan armeringen bockas upp för att öka förankringslängden. Bockningsradien för armeringen måste vara så stor att sprickor i stålet och brott i betongen på insidan av bockningen undviks. (EN 1992-1-1, 9.8.2.2, 8.4)

5.4 Sammanställning av dimensionering

Resultatsidan eller printsidan har till stor del samma utformning som inmatningssidan. Den största skillnaden är att ingen inmatning görs i denna sida utan hela dokumentet uppdateras automatiskt vartefter dimensioneringen framskrider. Här redovisas utnyttjandegrader på den dimensionerande sulan och bildgeneratoren producerar bilder på det aktuella tvärsnittet. Denna sida har utformats så att den enkelt ska gå att printa ut eller konvertera till annat format men det viktigaste har varit att få allt att rymmas på en A4-sida med logisk och lättförståelig uppställning. I sidan finns olika kontroller inbyggda så vid utnyttjandegrader över 100 % blir siffrorna röda samt en text med "Överskrids" belyses.

6. Sammanfattning och diskussion

Syftet med detta arbete var att ta fram en Excel-tillämpning som dimensionerar grundsulor. När jag påbörjade arbetet med Excel-tillämpningen hade jag endast grundläggande kunskaper i Excel. Eurokoder hade jag använt förut i mindre utsträckning, så de var inte helt obekanta. Eftersom vi i skolan har gått noggrant igenom grundkonstruktionernas dimensionering var detta inte något nytt. Det som varit mest krävande var att få fram ett utseende på dimensioneringsprogrammet som är enkelt och logiskt. En annan utmaning har varit att det inte finns så mycket litteratur om grundsulor i allmänhet utan de flesta källor handlar om dimensioneringen utan att behandla funktionen och den ekonomiska aspekten av grundläggningen.

Företaget som har beställt arbetet kommer att ha nytta av dimensioneringsprogrammet eftersom alla byggnader ska ha någon typ av grundläggning. Dimensioneringsprogrammet har en förklarande och dynamisk grafik så ingen direkt skolning för programmet behövs när det tas i bruk. Programmet är uppbyggt så att ändringar i beräkningssättet är enkla att utföra, men kalkylatorn och alla celler där inmatning inte behövs är däremot skyddade med lösenord. Detta för att undvika att programmets funktion ändras och om ändringar behövs sker dessa endast medvetet.

Utvecklingsförslag för tillämpningen är hur man behandlar olika lastfall vid dimensioneringen. I nuvarande fall måste man enskilt mata in alla lastfall som man vill undersöka och göra en beräkning per lastfall. Sedan väljer man det lastfall som blev dimensionerande för grundsulan. Detta kunde förbättras så att programmet själv väljer de mest kritiska fallen och dimensionerar efter dessa.

7. Källförteckning

BY 50-Betoninormit. 2012. Suomenen betoniyhdistys ry.

BY 211-Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja-osa 1. 2011. Suomen betoniyhdistys ry.

EN 1990. 2002. *Eurokod: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. European Committee for standardization

EN 1991-1-1. 2002. *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-1: Allmänna laster – Tunghet, egentynghet, nyttig last för byggnader*. European Committee for standardization

EN 1992-1-1. 2005. *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for standardization

EN 1997-1. 2004. *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*. European Committee for standardization

SFS-EN 206. 2013. *Concrete - Specification, performance, production and conformity*. European Committee for standardization

SFS-EN 10080. 2005. *Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General*. European Committee for standardization

Langesten B., 1990, *Betong konstruktion 3*.

Miljöministeriet. u.å. *Förordning om tillämpning av Eurocode -standarder inom husbyggande*. <http://www.ym.fi/download/noname/{803140DC-DFC2-4638-B351-127069DBF3B9}/32700> (hämtat: 19.2.2014).

RIL 207-2009-Geotekninen suunnittelu. 2009. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 202-2011/by61-Betonirekanteiden suunnitteluohje. 2011. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. & Suomen Betoiyhdistys ry.



Kund:	Test	Byggnadens del:	Test sula
Projekt:	Test		
Arbetsnummer:	1		

TYP AV GRUNDSULA	
Modulpunkter	

DIMENSIONERING AV GRUNDSULA

Programversion 0.9

Dimensionering enligt Eurokod

Planerare:	Ben Tuomela	Datum
Granskare:	Ben Tuomela	Datum

1.1 Mått och Inmatningsdata

Automatisk kontroll av inmatning

OK

Material:

Betong	C20/25	◆
Exponeringsklass	XC2	◆
Armeringens kvalitet (fyk)	500	◆
Skyddande betongskikt (sidan)	20 mm	
Skyddande betongskikt (mot mark)	50 mm	

Dimensionerings krav:

Geoteknisk bärrighet i brottgränstillstånd	450 kPa
Dimensionerings metod	DA2*
Geoteknisk klass	2
Friktionsvinkel för jord	32

Belastningar:

	Laster i brukstillstånd	Laster i brottgränstillstånd
Ange N, Normalkraften (kN)	Nk= 600,0 kN	Nd= 700,0 kN
Ange M, Momentet i runt X-axel (kNm)	Mkx= 0,0 kNm	Mdx= 0,0 kNm
Ange M, Momentet i runt Y-axel (kNm)	Mky= 100,0 kNm	Mdy= 150,0 kNm
Ange H, Sidokrafter i X-led (kN)	Hkx= 0,0 kN	Hdx= 45,0 kN
Ange H, Sidokrafter i Y-led (kN)	Hky= 0,0 kN	Hdy= 0,0 kN
Ange G1, Flyttbar tilläggslast (kN)	G1k= 0,0 kN	G1d= 0,0 kN
Ange position för tilläggslast (m)	X 0,5	Y 0,2

Grundsulan:

Ange sulans längd, L (m)	1,60 m
Ange sulans bredd, B (m)	1,50 m
Ange sulans höjd, H (m)	0,40 m

Huvudarmering:

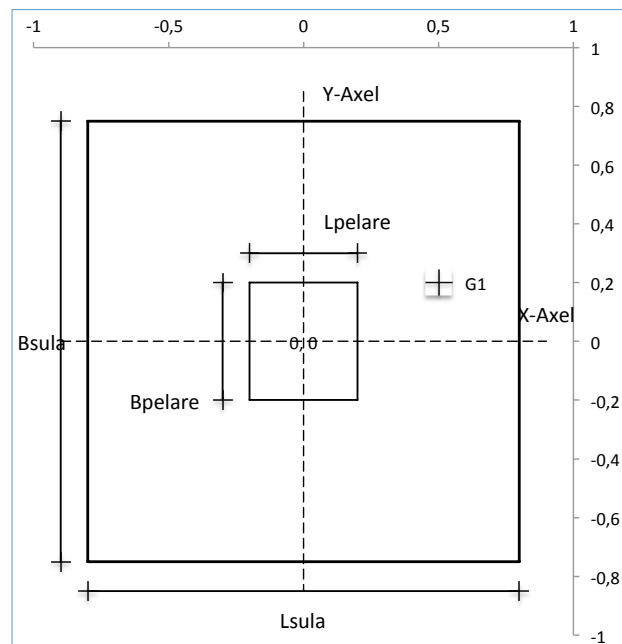
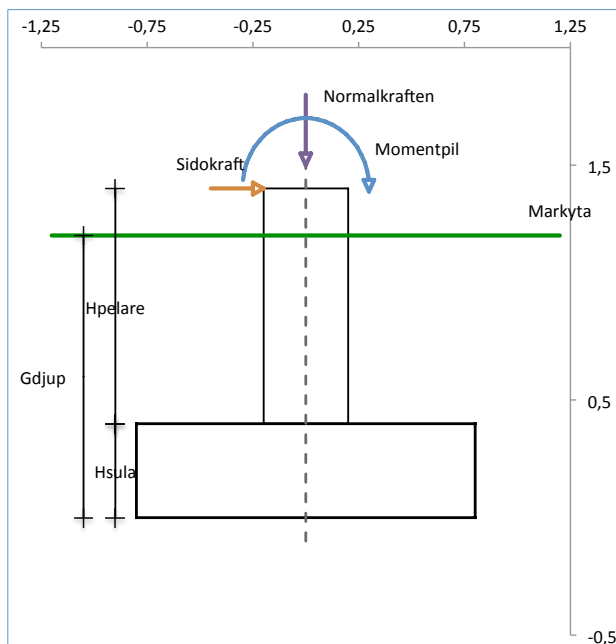
Armering i X-led (mm)	16
c/cx	130 mm
Armering i Y-led (mm)	16
c/cy	160 mm
Förankringstyp	Bockad armering

Grundpelare:

Ange grundpelarens längd, l (m)	0,40 m
Ange grundpelarens bredd, b (m)	0,40 m
Ange grundpelarens höjd, h (m)	1,00 m

Sulans placering:

Sulans grundläggningsdjup, Gdjup (m)	1,2 m
Fyllningsmassans densitet, γ (kN/m ³)	18 kN/m ³



Data som inmatas i inmatningsfliken

Betongens hållfasthet:	$f_{ck} := 20 \text{ MPa}$
Armeringens hållfasthet:	$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
Täckskikt till sida:	$c_{ts} := 20\text{mm}$
Täckskikt mot mark:	$c_{tu} := 50\text{mm}$
Tillåtet bottentryck givet av geotekniker:	$p_{Rd} := 450\text{kPa}$
Dimensionerings metod:	DA2*
Grundläggningsdjup:	$G_{djup} := 1.2\text{m}$
Densitet för fyllnadsjord	$\rho_{jord} := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Friktionsvinkeln för jord	$\varphi_k := 32\text{deg}$
Stål diameter i x-led	$\phi_{sx} := 12\text{mm}$
c/c mått på armering	$cc_x := 100\text{mm}$
Stål diameter i Y-led	$\phi_{sy} := 12\text{mm}$
c/c mått på armering	$cc_y := 160\text{mm}$

Yttre belastningar:	Belastning i brukstillstånd	Belastning i brottgränstillstånd
Normalkraften	$N_k := 600\text{kN}$	$N_d := 700\text{kN}$
Moment kring x-axeln	$M_{kx} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{dx} := 0\text{kN}\cdot\text{m}$
Moment kring y-axeln	$M_{ky} := 100\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{dy} := 150\text{kN}\cdot\text{m}$
Horisontalkraft längs x-axel	$H_{kx} := 0\text{kN}$	$H_{dx} := 45\text{kN}$
Horisontalkraft längs y-axel	$H_{ky} := 0\text{kN}$	$H_{dy} := 0\text{kN}$
Tillägslast	$G_{1k} := 0\text{kN}$	$G_{1d} := 0\text{kN}$
Position för tillägslast	$X_{G1} := 0\text{m}$	$Y_{G1} := 0\text{m}$

Grundkonstruktionens geometri:

	Längd	Bredd	Höjd
Sulan	$L := 1.6\text{m}$	$B := 1.5\text{m}$	$H := 0.4\text{m}$
Grundpelaren	$a := 0.4\text{m}$	$b := 0.4\text{m}$	$h_p := 1\text{m}$
Mark ovanom sula	$L_m := L - a$	$B_m := B - b$	$H_m := \max(0, G_{djup} - H) = 0.8\text{m}$

Avstånd för de yttrebelastningarnas angreppspunkt till underkant sula: $H_{grund} := H + h_p = 1.4\text{m}$

Data som plockas ur Data fliken

Partialkoefficient för betong	$\gamma_c := 1.5$
Betongens kryptal	$\varphi_c := 1.5$
Alfa cc för betong	$\alpha_{cc} := 0.85$
Partialkoefficient för $\tan(\phi)$	$\gamma_\phi := 1.25$
Densitet för betong	$\rho_c := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Partialkoefficient för stål	$\gamma_s := 1.15$
Stålets hållfasthet	$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \quad \text{MPa}$
Elasticitetsmodul för stål	$E_s := 200000 \quad \text{MPa}$

Beräkning av betongens olika hållfasthets egenskaper

$$f_{ctm} := 0.3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 2.21 \quad \text{MPa}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 11.333 \quad \text{MPa}$$

$$f_{ctm.fi} := f_{ctm} \cdot \frac{\left[1 + 1.5 \cdot \left(10 \cdot \frac{H}{m} \right)^{0.7} \right]}{\left[1.5 \cdot \left(10 \cdot \frac{H}{m} \right)^{0.7} \right]} = 2.769 \quad \text{MPa}$$

$$f_{ctd} := 0.7 \cdot \frac{f_{ctm}}{\gamma_c} = 1.032 \quad \text{MPa}$$

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 = 28 \quad \text{MPa}$$

Kalkylator fliken börjar med att beräkna belastningar som uppkommer**Belastning p.g.a. grundkonstruktionens geometri:**

Sulan	$G_{\text{sula}} := L \cdot B \cdot H \cdot \rho_c = 24 \cdot \text{kN}$
Grundpelaren	$G_{\text{pelare}} := a \cdot b \cdot h_p \cdot \rho_c = 4 \cdot \text{kN}$
Mark ovanom sula	$G_{\text{jord}} := L_m \cdot B_m \cdot H_m \cdot \rho_{\text{jord}} = 19.008 \cdot \text{kN}$

Belastningar som programmet skall dimensionera mot:**Belastning i brukstillstånd**

$$N_{\text{ek}} := N_k + G_{1k} + G_{\text{sula}} + G_{\text{pelare}} + G_{\text{jord}} = 647.008 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Ek.x}} := H_{\text{kx}} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Ek.y}} := H_{\text{ky}} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{Ek.y}} := M_{\text{ky}} + H_{\text{kx}} \cdot H_{\text{grund}} + G_{1k} \cdot X_{G1} = 100 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ek.x}} := M_{\text{kx}} + H_{\text{ky}} \cdot H_{\text{grund}} + G_{1k} \cdot Y_{G1} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Belastning i brottgränstillstånd

$$N_{\text{Ed}} := N_d + G_{1d} + 1.15(G_{\text{sula}} + G_{\text{pelare}} + G_{\text{jord}}) = 754.059 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Ed.x}} := H_{\text{dx}} = 45 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Ed.y}} := H_{\text{dy}} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{Ed.y}} := M_{\text{dy}} + H_{\text{dx}} \cdot H_{\text{grund}} + G_{1d} \cdot X_{G1} = 213 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.x}} := M_{\text{dx}} + H_{\text{dy}} \cdot H_{\text{grund}} + G_{1d} \cdot Y_{G1} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Dimensionering mot bottentryck:

Metod som används är DA2*

vilket leder till att belastningar i brottgränstillstånd används

$$\text{Excentrisitet i y-led} \quad e_{kx} := \frac{|M_{Ek,y}|}{N_{ek}} = 154.558 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Excentrisitet i x-led} \quad e_{ky} := \frac{|M_{Ek,x}|}{N_{ek}} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Effektivlängd på sula i x-led} \quad L_{ef} := L - 2 \cdot e_{kx} = 1.291 \text{ m}$$

$$\text{Effektiv längd på sula i y-led} \quad B_{ef} := B - 2 \cdot e_{ky} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Dimensionerande bottentryck} \quad p_{Ed} := \frac{N_{Ed}}{L_{ef} \cdot B_{ef}} = 389.428 \cdot \text{kPa}$$

Utnyttjandegrad med hänsyn till bottentryck:

$$\eta_{Rd} := \frac{p_{Ed}}{p_{Rd}} = 86.539 \cdot \%$$

Kontroll av stabilitet med ofördelaktigt lastfall i brottgränstillstånd kring X-axel

$$\text{Reducerad normalkraft:} \quad N_{ed,min} := 0.9 \cdot N_{Ed} = 678.653 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Stjälpande moment kring X-axel:} \quad |M_{Ed,x}| = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Excentricitet i X-led:} \quad e_{dx,max} := \frac{|M_{Ed,x}|}{N_{ed,min}} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Stabiliserande moment kring x-axel:} \quad MP_x := N_{ed,min} \cdot \frac{B}{2} = 508.99 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Utnyttjandegrad mot B/3:

$$\eta_{ex} := \frac{e_{dx,max}}{\frac{B}{3}} = 0 \cdot \%$$

Utnyttjandegrad mot stjälpning kring X-axel:

$$\eta_{ux} := \frac{|M_{Ed,x}|}{MP_x} = 0 \cdot \%$$

Kontroll av stabilitet med ofördelaktigt lastfall i brottgränstillstånd kring Y-axel

Stjälpande moment kring Y-axel: $|M_{Ed,y}| = 213 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Excentricitet i Y-led: $e_{dy,max} := \frac{|M_{Ed,y}|}{N_{ed,min}} = 313.857 \cdot \text{mm}$

Stabiliserande moment kring Y-axel: $MP_y := N_{ed,min} \cdot \frac{L}{2} = 542.923 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Utnyttjandegrad mot L/3:

$$\eta_{ey} := \frac{e_{dy,max}}{\frac{L}{3}} = 58.848 \cdot \%$$

Utnyttjandegrad mot stjälpning kring Y-axel:

$$\eta_{uy} := \frac{|M_{Ed,y}|}{MP_y} = 39.232 \cdot \%$$

Kontroll mot glidning i brottgränstillstånd

Horisontellkraft i X-led $H_{Ed,x} = 45 \cdot \text{kN}$

Horisontell kraft i Y-led $H_{Ed,y} = 0 \cdot \text{kN}$

Friktionskoefficient $u_d := \frac{\tan(\varphi_k)}{\gamma_\phi} = 0.5$

Minsta förekommande friktionskraft: $F_{u,min} := N_{ed,min} \cdot u_d = 339.256 \cdot \text{kN}$

Utnyttjandegrad mot glidning:

$$\eta_u := \frac{\sqrt{H_{Ed,x}^2 + H_{Ed,y}^2}}{F_{u,min}} = 13.264 \cdot \%$$

Dimensionering mot moment i brottgränstillstånd

Normalkraften	$N_{Ed} = 754.059 \cdot \text{kN}$
Moment kring X-axel	$M_{Ed,x} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Moment kring Y-axel	$M_{Ed,y} = 213 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Excentricitet i x-led	$e_{dx} := \frac{ M_{Ed,y} }{N_{Ed}} = 282.471 \cdot \text{mm}$
Excentricitet i Y-led	$e_{dy} := \frac{ M_{Ed,x} }{N_{Ed}} = 0 \cdot \text{mm}$
Effektiv längd på sula i X-led	$L_t := L - 2 \cdot e_{dx} = 1.035 \text{ m}$
Effektiv längd på sula i Y-led	$B_t := B - 2 \cdot e_{dy} = 1.5 \text{ m}$
Effektiv area för sulan	$A_t := B_t \cdot L_t = 1.553 \text{ m}^2$
Dimensionerande bottentryck	$p_{ed} := \frac{N_{Ed}}{A_t} = 485.679 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Nettobottentryck	$p_{ed.net} := p_{ed} - H \cdot \rho_c - H_m \cdot \rho_{jord} = 461.279 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Beräkning av armeringsmängd i X-led

Tvärsnittets effektiva höjd	$d := H - \left(c_{tu} + \frac{\phi_{sx}}{2} \right) = 0.344 \text{ m}$
Utkragningsmått i X-led	$c_x := \frac{L}{2} - \frac{a}{2} = 0.6 \text{ m}$
Moment i kritiskt snitt i X-led	$M_{cx} := \begin{cases} B_t \cdot L_t \cdot p_{ed.net} \cdot \left(\frac{e_{dx} - a}{2} \right) & \text{if } e_{dx} > \frac{(L + a)}{4} \\ B_t \cdot p_{ed.net} \cdot \frac{c_x^2}{2} & \text{if } e_{dx} < \frac{(L + a)}{4} \end{cases}$ $M_{cx} = 124.545 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Relativt moment	$\mu_x := \frac{M_{cx}}{f_{cd} \cdot \text{MPa} \cdot B \cdot d^2} = 0.062$
Beräkning av Beta	$\beta_x := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_x} = 0.064$
Erforderlig armeringsmängd	$A_{s,erf,x} := \beta_x \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) \cdot 1 \cdot \text{m} \cdot d = 573.483 \cdot \text{mm}^2$
Minimiarmeringsmängd	$A_{s,min} := \max \left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot 1 \cdot \text{m} \cdot d, 0.0013 \cdot d \cdot 1 \cdot \text{m} \right) = 447.2 \cdot \text{mm}^2$

Vald armerings mängd $A_{s, \text{vald}, x} := \frac{1 \cdot m}{cc_x} \left(\frac{\phi_{sx}^2}{4} \cdot \pi \right) = 1.131 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$

Utnyttjandegrad för armering i X-led

$$\eta_{As, x} := \frac{\max(A_{s, \text{erf}, x}, A_{s, \text{min}})}{A_{s, \text{vald}, x}} = 50.707\%$$

Beräkning av armeringsmängd i Y-led

Utkragningsmått i Y-led $c_y := \frac{B}{2} - \frac{b}{2} = 0.55 \text{ m}$

Moment i kritiskt snitt i Y-led $M_{cy} := \begin{cases} B_t \cdot L_t \cdot p_{\text{ed}, \text{net}} \cdot \left(\frac{e_{dy} - b}{2} \right) & \text{if } e_{dy} > \frac{(B + b)}{4} \\ L_t \cdot p_{\text{ed}, \text{net}} \cdot \frac{c_y^2}{2} & \text{if } e_{dy} < \frac{(B + b)}{4} \end{cases}$

$$M_{cy} = 72.214 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Relativt moment $\mu_y := \frac{M_{cy}}{f_{cd} \cdot \text{MPa} \cdot L \cdot d^2} = 0.034$

Beräkning av Beta $\beta_y := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_x} = 0.064$

Erforderlig armeringsmängd $A_{s, \text{erf}, y} := \beta_y \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) \cdot 1 \cdot m \cdot d = 573.483 \cdot \text{mm}^2$

Vald armerings mängd $A_{s, \text{vald}, y} := \frac{1 \cdot m}{cc_y} \left(\frac{\phi_{sy}^2}{4} \cdot \pi \right) = 706.858 \cdot \text{mm}^2$

Utnyttjandegrad för armering i Y-led

$$\eta_{As, y} := \frac{\max(A_{s, \text{erf}, y}, A_{s, \text{min}})}{A_{s, \text{vald}, x}} = 50.707\%$$

Kontroll av skjuvkapacitet i X-led

Kritiskt snitt från sulans kant $d_x := \min\left(L_t, \frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d\right) = 0.256 \text{ m}$

Skjuvkraft i snitt $V_{d,x} := p_{ed.net} \cdot B_t \cdot d_x = 177.131 \cdot \text{kN}$

$$k := \min\left(1 + \sqrt{\frac{0.2 \cdot 1 \text{ m}}{d}}, 2\right) = 1.762$$

Relativ armering i X-led $\rho_x := \frac{A_{s.vald.x}}{d \cdot 1 \text{ m}} = 0.329 \cdot \%$

Faktor k1 och σ_{cp} försummas eftersom dessa endast ger en minimal ökning av skjuvhållfastheten

Skjuvkapacitet i X-led $V_{Rd,x} := \max\left[0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}, 0.12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_x \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{B \cdot d}{\text{m}^2}\right)\right] = 0.366$

Utnyttjandegrad för skjuvkraft i X-led: $\eta_{Vd,x} := \max\left(0, \frac{\frac{V_{d,x}}{1000 \cdot \text{kN}}}{V_{Rd,x}}\right) = 48.364 \cdot \%$

Kontroll av skjuvkapacitet i Y-led

Kritiskt snitt från sulans kant $d_y := \min\left(B_t, \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d\right) = 0.206 \text{ m}$

Skjuvkraft i snitt $V_{d,y} := p_{ed.net} \cdot L_t \cdot d_y = 98.355 \cdot \text{kN}$

Relativ armering i X-led $\rho_y := \frac{A_{s.vald.y}}{d \cdot 1 \text{ m}} = 0.205 \cdot \%$

Faktor k1 och σ_{cp} försummas eftersom dessa endast ger en minimal ökning av skjuvhållfastheten

Skjuvkapacitet i X-led $V_{Rd,y} := \max\left[0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}, 0.12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_x \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{L \cdot d}{\text{m}^2}\right)\right] = 0.366$

Utnyttjandegrad för skjuvkraft i X-led: $\eta_{Vd,y} := \max\left(0, \frac{\frac{V_{d,y}}{1000 \cdot \text{kN}}}{V_{Rd,y}}\right) = 26.855 \cdot \%$

Kontroll mot genomstansning

Yta för det kritiska snittet $A_u := (a + d) \cdot (b + d) = 0.554 \text{ m}^2$

Omkrets för kritiskt snitt $u := 2 \cdot (a + d) + 2 \cdot (b + d) = 2.976 \text{ m}$

Delytor för sulans bottentryck:

$$A_1 := B_t \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d \right) = 0.384 \text{ m}^2$$

$$A_2 := \min \left[B_t \cdot 1 \text{ m}, \left(\frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d \right) \cdot \left(\frac{a}{2} + d + \frac{L}{2} - 2 \cdot e_{dx} \right) \right] = 0.16 \text{ m}^2$$

$$A_3 := \max \left[0, \left(B_t - \frac{b}{2} + \frac{b}{2} + d \right) \cdot \max \left(0, \frac{L}{2} - 2 \cdot e_{dx} - \frac{a}{2} - d \right) \right] = 0 \text{ m}^2$$

$$A_4 := \max \left[0, L_t - \left(\frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d \right) - \max \left(0, \frac{L}{2} - 2 \cdot e_{dx} - \frac{a}{2} - d \right) \right] \cdot \max \left(0, \frac{B}{2} - 2 \cdot e_{dy} - \frac{b}{2} - d \right) = 0.16 \text{ m}^2$$

Genomstansningskraft som uppstår $V_{Ed,p} := p_{ed,net} \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) = 325.189 \cdot \text{kN}$

Koefficient k vid genomstansning $k_p := \max \left(1, 1.6 - \frac{d}{1 \text{ m}} \right) = 1.256$

Excentricitet $e_p := \sqrt{e_{dx}^2 + e_{dy}^2} = 0.282 \text{ m}$

Koefficient Beta $\beta_p := \frac{0.4}{\left(1 + 1.5 \cdot \frac{e_p}{\sqrt{A_u}} \right)} = 0.255$

Relativ armeringsmängd $\rho_s := \min \left(\sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}, 0.008 \right) = 0.26 \cdot \%$

Genomstansningskapacitet $V_{Rd,p} := k_p \cdot \beta_p \cdot (1 + 50 \cdot \rho_s) \cdot u \cdot d \cdot f_{ctd} \cdot \text{MPa} = 381.965 \cdot \text{kN}$

Utnyttjandegrad mot genomstansning

$$\eta_{Vd,p} := \max \left(0, \frac{V_{Ed,p}}{V_{Rd,p}} \right) = 85.136 \cdot \%$$

Kontroll mot sprickning i X-led

Nettobottentryck i brukstillstånd

$$p_{k.net} := p_{Ed} - H \cdot \rho_c - H_m \cdot \rho_{jord} = 365.028 \cdot \text{kPa}$$

Moment i kritiskt snitt i X-led

$$M_{k.cx} := \begin{cases} B_t \cdot L_t \cdot p_{k.net} \cdot \left(\frac{e_{dx} - a}{2} \right) & \text{if } e_{dx} > \frac{(L + a)}{4} \\ B_t \cdot p_{k.net} \cdot \frac{c_x^2}{2} & \text{if } e_{dx} < \frac{(L + a)}{4} \end{cases}$$

$$M_{k.cx} = 98.557 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Tvärsnittets sprickmoment

$$M_{cr.x} := f_{ctm} \cdot \text{MPa} \cdot \frac{1}{6} \cdot B \cdot H^2 = 88.417 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Utnyttjandegrad mot sprickning

$$\eta_{hx} := \frac{M_{k.cx}}{M_{cr.x}} = 111.469 \cdot \%$$

Kontroll mot sprickning i Y-led

Moment i kritiskt snitt i Y-led

$$M_{k.cy} := \begin{cases} B_t \cdot L_t \cdot p_{k.net} \cdot \left(\frac{e_{dy} - b}{2} \right) & \text{if } e_{dy} > \frac{(B + b)}{4} \\ L_t \cdot p_{k.net} \cdot \frac{c_y^2}{2} & \text{if } e_{dy} < \frac{(B + b)}{4} \end{cases}$$

$$M_{k.cy} = 57.146 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Tvärsnittets sprickmoment

$$M_{cr.y} := f_{ctm} \cdot \text{MPa} \cdot \frac{1}{6} \cdot L \cdot H^2 = 94.311 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Utnyttjandegrad mot sprickning

$$\eta_{hy} := \frac{M_{k.cy}}{M_{cr.y}} = 60.593 \cdot \%$$

Beräkning av sprikvidd om sulan spricker (med kortvarig last)

Kortvarig elasticitetsmodul för betong

$$E_{cm} := 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} \cdot 1000 = 2.996 \times 10^4$$

Förhållande mellan elasticitetsmoduler

$$a_{e1} := \frac{E_s}{E_{cm}} = 6.675$$

Koefficienter k vid sprickberäkning

$$k_1 := 0.8$$

$$k_3 := 3.4$$

$$k_t := 0.6$$

$$k_2 := 0.5$$

$$k_4 := 0.425$$

Sprickviddsberäkning i X-led

Moment = 0 kNm om ej spricker

$$M_{k,cx} := \begin{cases} 0 & \text{if } M_{cr,x} > M_{k,cx} \\ M_{k,cx} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{k,cx} = 98.557 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Neutralaxelns läge

$$k_x := \sqrt{\rho_x^2 \cdot a_{e1}^2 + 2 \cdot \left(\frac{\rho_x \cdot m}{d} \right) \cdot a_{e1} - \rho_x \cdot a_{e1}} = 0.336$$

Dragen betongyta i snitt

$$h_{c,eff} := \min \left[2.5 \cdot (H - d), \frac{(H - k_x \cdot d)}{3}, \frac{H}{2} \right] = 94.814 \cdot \text{mm}$$

effektiv relativ armering

$$\rho_{eff,x} := \frac{A_{s, vald,x}}{1m \cdot h_{c,eff}} = 1.193 \cdot \%$$

Kantspänning i tryckt kant

$$\sigma_{c,x} := \frac{M_{k,cx}}{\left[0.5 \cdot B \cdot d^2 \cdot k_x \cdot \left(1 - \frac{k_x}{3} \right) \right]} = 3.723 \cdot \text{MPa}$$

Stålets dragspänning vid spricka

$$\sigma_{s,x} := \sigma_{c,x} \cdot \left(0.5 \cdot \frac{k_x}{\rho_x} \right) = 190.179 \cdot \text{MPa}$$

Hjälpvärde för töjningsdifferans

$$cc_{hx} := k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff,x}} \cdot (1 + a_{e1} \cdot \rho_{eff,x}) \cdot \text{MPa} = 120.037 \cdot \text{MPa}$$

Töjningsdifferans

$$d_{eps,x} := \max \left[0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,x}}{E_s \cdot \text{MPa}}, \frac{(\sigma_{s,x} - cc_{hx})}{E_s \cdot \text{MPa}} \right] = 5.705 \times 10^{-4}$$

Spricka avstånd i medeltal

$$s_{rmax,x} := k_3 \cdot (H - d) + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{sx}}{\rho_{eff,x}} = 0.361 \cdot \text{m}$$

Sprickbredd

$$W_{ks,x} := d_{eps,x} \cdot s_{rmax,x} = 0.206 \cdot \text{mm}$$

Utnyttjandegrad med hänsyn till sprickvidd

$$\eta_{W,ks,x} := \frac{W_{ks,x}}{0.2\text{mm}} = 103.102 \cdot \%$$

Sprickviddsberäkning i Y-led

Moment = 0 kNm om ej spricker

$$M_{k.cy} := \begin{cases} 0 & \text{if } M_{cr,y} > M_{k.cy} \\ M_{k.cy} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{k.cy} = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Neutralaxelns läge

$$k_y := \sqrt{\rho_y^2 \cdot a_{e1}^2 + 2 \cdot \left(\frac{\rho_y \cdot m}{d} \right) \cdot a_{e1}} - \rho_y \cdot a_{e1} = 0.269$$

effektiv relativ armering

$$\rho_{eff,y} := \frac{A_{s, vald,y}}{l_m \cdot h_{c, eff}} = 0.746 \cdot \%$$

Kantspänning i tryckt kant

$$\sigma_{c,y} := \frac{M_{k.cy}}{\left[0.5 \cdot L \cdot d^2 \cdot k_y \cdot \left(1 - \frac{k_y}{3} \right) \right]} = 0 \cdot \text{MPa}$$

Stålets dragspänning vid spricka

$$\sigma_{s,y} := \sigma_{c,y} \cdot \left(0.5 \cdot \frac{k_y}{\rho_y} \right) = 0 \cdot \text{MPa}$$

Hjälpvärde för töjningsdifferans

$$cc_{hy} := k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff,y}} \cdot (1 + a_{e1} \cdot \rho_{eff,y}) \cdot \text{MPa} = 186.748 \cdot \text{MPa}$$

Töjningsdifferans

$$d_{eps,y} := \max \left[0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,y}}{E_s \cdot \text{MPa}}, \frac{(\sigma_{s,y} - cc_{hy})}{E_s \cdot \text{MPa}} \right] = 0$$

Spricka avstånd i medeltal

$$s_{rmax,y} := k_3 \cdot (H - d) + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{sy}}{\rho_{eff,y}} = 0.464 \text{ m}$$

Sprickbredd

$$w_{ks,y} := d_{eps,y} \cdot s_{rmax,y} = 0 \cdot \text{mm}$$

Utnyttjandegrad med hänsyn till sprickvidd

$$\eta_{w,ks,y} := \frac{w_{ks,y}}{0.2 \text{ mm}} = 0 \cdot \%$$

Beräkning av erforderlig förankringslängd för armering

Vidhäftnings förhållande koefficient	$n_1 := 0.7$
Koefficient relaterad till stång diameter	$n_2 := 1.0$
Vidhäftningshållfastheten	$f_{bd} := 2.25 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot f_{ctd} \cdot \text{MPa} = 1.625 \cdot \text{MPa}$

Beräkning av dragkraft som skall förankras

Inre hävarmen	$Z_1 := 0.9 \cdot d = 0.31 \text{ m}$
hävarmens inre tryckzon	$e_i := 0.15 \cdot a = 0.06 \text{ m}$
Armeringens täckskikt till sida	$c_{ts} = 20 \cdot \text{mm}$
Armeringens täckskikt mot mark	$c_{tu} = 50 \cdot \text{mm}$
Mått på marktryck	$X_x := \frac{H}{2} = 200 \cdot \text{mm}$
Yttre hävarm i X-led	$Z_{ex} := \frac{L}{2} - \frac{a}{2} - \frac{X_x}{2} + e_i = 560 \cdot \text{mm}$
Yttre hävarm i Y-led	$Z_{ey} := \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - \frac{X_x}{2} + e_i = 510 \cdot \text{mm}$
Grundtryckets resultant i x-led	$R_x := p_{ed.net} \cdot B \cdot X_x = 138.384 \cdot \text{kN}$
Grundtryckets resultant i y-led	$R_y := p_{ed.net} \cdot L \cdot X_x = 147.609 \cdot \text{kN}$
Dragkraft i armering som skall förankras i X-led	$F_{sx} := R_x \cdot \frac{Z_{ex}}{Z_1} = 250.307 \cdot \text{kN}$
Dragkraft i armering som skall förankras i Y-led	$F_{sy} := R_y \cdot \frac{Z_{ey}}{Z_1} = 243.155 \cdot \text{kN}$
Vald armerings mängd i X- och Y-led	$A_{s.vald.x} = 1.131 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$ $A_{s.vald.y} = 706.858 \cdot \text{mm}^2$
Stålspanningen	$\sigma_{sd.x} := \frac{F_{sx}}{A_{s.vald.x}} = 221.32 \cdot \text{MPa}$ $\sigma_{sd.y} := \frac{F_{sy}}{A_{s.vald.y}} = 343.994 \cdot \text{MPa}$

Erforderligt grund värde för förankring i x- och y-led

$$l_{b.req.x} := \frac{\phi_{sx}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.x}}{f_{bd}} = 408.676 \cdot \text{mm}$$

$$l_{b.req.y} := \frac{\phi_{sy}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd.y}}{f_{bd}} = 635.2 \cdot \text{mm}$$

Dimensionerande förankringslängd i X-led

Armeringens cc mått

$$cc_x = 100 \cdot \text{mm}$$

Hjälpvärde för Alfa 1

$$c_{dx} := \min\left(\frac{cc_x}{2}, c_{tu}\right) = 50 \cdot \text{mm}$$

Stängernas form under förutsättning av täckskikt Alfa 1:

om bockad armering

$$\alpha_{1b} := \begin{cases} 0.7 & \text{if } c_{dx} > 3 \cdot \phi_{sx} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Om rak armering

$$\alpha_{1r} := 1$$

Effekten av täckande betong skickt Alfa 2:

Om bockad armering:

$$\alpha_{2b} := \max\left[0.7, \min\left[1, 1 - 0.15 \cdot \frac{(c_{dx} - 3\phi_{sx})}{\phi_{sx}}\right]\right] = 0.825$$

Om rak armering

$$\alpha_{2r} := \max\left[0.7, \min\left[1 - \left(0.15 \cdot \frac{c_{dx} - \phi_{sx}}{\phi_{sx}}\right), 1\right]\right] = 0.7$$

Omslutnings effekten av tvärgående stänger Alfa 3 beaktas inte: $\alpha_3 := 1$

Inverkan av svetsad armering Alfa 4, detta beaktas inte: $\alpha_4 := 1$

Inverkan av tryck vinkelrätt mot spjälkplanet Alfa 5 beaktas inte: $\alpha_5 := 1$

Produkten av all Alfa värden:

Om bockad armering

$$\alpha_{tot.b} := \max\left(0.7, \min\left(1, \alpha_{1b} \cdot \alpha_{2b} \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5\right)\right) = 0.7$$

Om rak armering

$$\alpha_{tot.r} := \max\left(0.7, \min\left(1, \alpha_{1r} \cdot \alpha_{2r} \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5\right)\right) = 0.7$$

Minsta möjliga förankrings längd

$$l_{b.min.x} := \max\left(0.3 \cdot l_{b.req.x}, 10 \cdot \phi_{sx}, 100 \text{mm}\right) = 122.603 \cdot \text{mm}$$

Erforderlig förankringslängd

Om bockad armering $l_{bd.xb} := \max(\alpha_{tot.b} \cdot l_{b.req.x}, l_{b.min.x}) = 286.073 \cdot \text{mm}$

Om rak armering $l_{bd.xr} := \max(\alpha_{tot.r} \cdot l_{b.req.x}, l_{b.min.x}) = 286.073 \cdot \text{mm}$

Tillgängliga förankringslängder

Om bockad armering $l_{b.actual.bockad.x} := (X_x - c_{ts}) + H - c_{tu} - c_{ts} = 510 \cdot \text{mm}$

Om rak armering $l_{b.actual.rak.x} := X_x - c_{ts} = 180 \cdot \text{mm}$

Utnyttjandegrad för förankringslängd

Om bockad armering $\frac{l_{bd.xb}}{l_{b.actual.bockad.x}} = 56.093 \cdot \%$

Om rak armering $\frac{l_{bd.xr}}{l_{b.actual.rak.x}} = 158.93 \cdot \%$

Dimensionerande förankringslängd i Y-led

Armeringens cc mått $cc_y = 160 \cdot \text{mm}$

Hjälpvärde för Alfa 1 $c_{dy} := \min\left(\frac{cc_y}{2}, c_{tu}\right) = 50 \cdot \text{mm}$

Stängernas form under förutsättning av täckskikt Alfa 1:

om bockad armering $\alpha_{1yb} := \begin{cases} 0.7 & \text{if } c_{dy} > 3 \cdot \phi_{sy} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$

Om rak armering $\alpha_{1yr} := 1$

Effekten av täckande betong skickt Alfa 2:

Om bockad armering: $\alpha_{2yb} := \max\left[0.7, \min\left[1, 1 - 0.15 \cdot \frac{(c_{dy} - 3\phi_{sy})}{\phi_{sy}}\right]\right] = 0.825$

Om rak armering $\alpha_{2yr} := \max\left[0.7, \min\left[1 - \left(0.15 \cdot \frac{c_{dy} - \phi_{sy}}{\phi_{sy}}\right), 1\right]\right] = 0.7$

Omslutnings effekten av tvärgående stänger Alfa 3 beaktas inte: $\alpha_{y3} := 1$

Inverkan av svetsad armering Alfa 4, detta beaktas inte: $\alpha_{y4} := 1$

Inverkan av tryck vinkelrätt mot spjälkplanet Alfa 5 beaktas inte: $\alpha_{y5} := 1$

Produkten av all Alfa värden:

$$\text{Om bockad armering} \quad \alpha_{\text{tot.by}} := \max(0.7, \min(1, \alpha_{1yb} \cdot \alpha_{2yb} \cdot \alpha_{y3} \cdot \alpha_{y4} \cdot \alpha_{y5})) = 0.7$$

$$\text{Om rak armering} \quad \alpha_{\text{tot.ry}} := \max(0.7, \min(1, \alpha_{1yr} \cdot \alpha_{2yr} \cdot \alpha_{y3} \cdot \alpha_{y4} \cdot \alpha_{y5})) = 0.7$$

$$\text{Minsta möjliga förankrings längd} \quad l_{b.\text{min.y}} := \max(0.3 \cdot l_{b.\text{req.y}}, 10 \cdot \phi_{sy}, 100\text{mm}) = 190.56 \cdot \text{mm}$$

Erforderlig förankringslängd

$$\text{Om bockad armering} \quad l_{bd.yb} := \max(\alpha_{\text{tot.by}} \cdot l_{b.\text{req.y}}, l_{b.\text{min.y}}) = 444.64 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Om rak armering} \quad l_{bd.yr} := \max(\alpha_{\text{tot.ry}} \cdot l_{b.\text{req.y}}, l_{b.\text{min.y}}) = 444.64 \cdot \text{mm}$$

Tillgängliga förankringslängder

$$\text{Om bockad armering} \quad l_{b.\text{actual.bockad.y}} := (X_x - c_{ts}) + H - c_{tu} - c_{ts} = 510 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Om rak armering} \quad l_{b.\text{actual.rak.y}} := X_x - c_{ts} = 180 \cdot \text{mm}$$

Utnyttjandegrad för förankringslängd

$$\text{Om bockad armering} \quad \frac{l_{bd.yb}}{l_{b.\text{actual.bockad.y}}} = 87.184 \cdot \%$$

$$\text{Om rak armering} \quad \frac{l_{bd.yr}}{l_{b.\text{actual.rak.y}}} = 247.022 \cdot \%$$



Kund:	Test	Byggnadens del:	Test sula
Projekt:	Test		Hej
Arbetsnummer:	1		

TYP AV GRUNDSULA	0
Modulpunkter	0

DIMENSIONERING AV GRUNDSULA

Programversion 0.4

Dimensionering enligt Eurokod

Planerare:	Ben Tuomela	24.04.2015	Datum
Granskare:	Ben Tuomela	24.04.2015	Datum

1.1 Mått och Inmatningsdata

Material:

Betong	C20/25
Exponeringsklass	XC2
Armerings kvalitet (fyk)	500
Skyddande betongskikt (sidan)	20 mm
Skyddande betongskikt (mot mark)	50 mm

Dimensionerings krav:

Geoteknisk bärighet i brottgränstillstånd	450 kPa
Dimensionerings metod	DA2*
Geoteknisk klass	2
Friktionsvinkel för jord	32

Belastningar:

	Laster i brukstillstånd	Laster i brottgränstillstånd
Ange N, Normalkraften (kN)	Nk= 600,0 kN	Nd= 700,0 kN
Ange M, Momentet i X-axelns riktning (kNm)	Mkx= 100,0 kNm	Mdx= 0,0 kNm
Ange M, Momentet i Y-axelns riktning (kNm)	Mky= 100,0 kNm	Mdy= 150,0 kNm
Ange H, Sidokrafter i X-led (kN)	Hkx= 0,0 kN	Hdx= 45,0 kN
Ange H, Sidokrafter i Y-led (kN)	Hky= 0,0 kN	Hdy= 0,0 kN
Ange G1, Flyttbar tilläggslast (kN)	G1k= 0,0 kN	G1d= 0,0 kN
Ange position för tilläggslast (m)	X 0,5	Y 0,2

Grundsulan:

Ange sulans längd, L (m)	1,70 m
Ange sulans bredd, B (m)	1,60 m
Ange sulans höjd, H (m)	0,40 m

Huvudarmering:

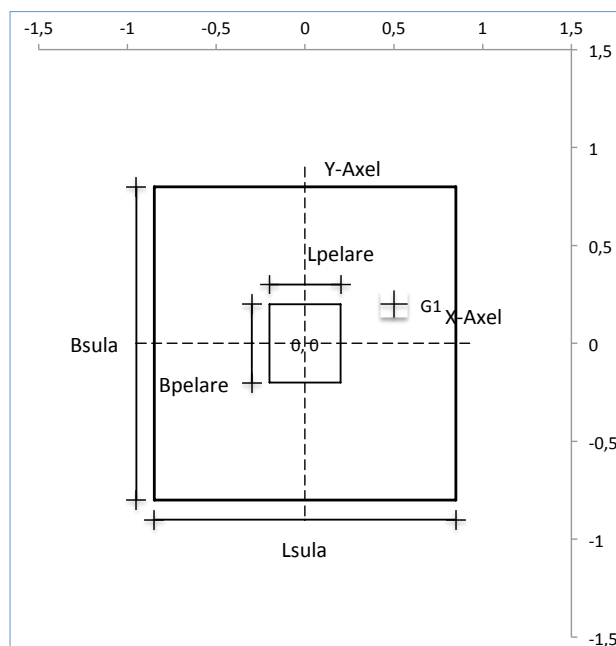
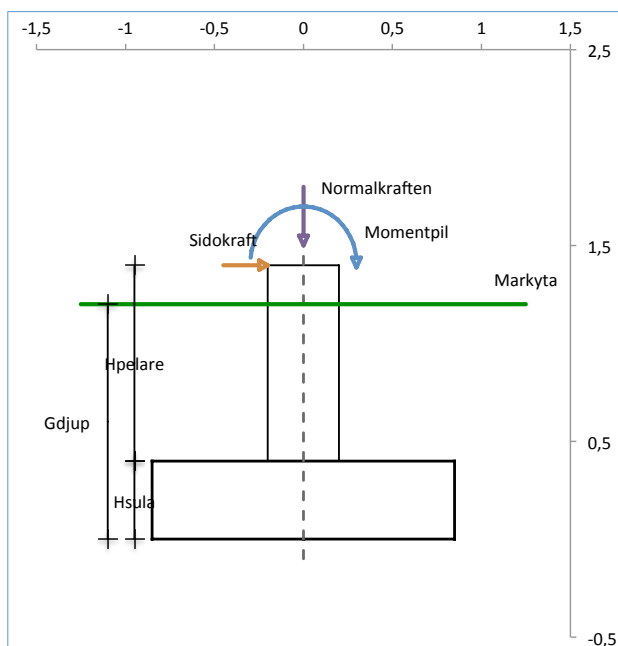
Armering i X-led (mm)	16 mm
c/cx	160 mm
Armering i Y-led (mm)	16 mm
c/cy	190 mm
Förankringstyp	Bockad armering

Grundpelare:

Ange grundpelarens längd, l (m)	0,40 m
Ange grundpelarens bredd, b (m)	0,40 m
Ange grundpelarens höjd, h (m)	1,00 m

Sulans placering:

Sulans grundläggningsdjup, Gdjup (m)	1,2 m
Fyllningsmassans densitet, y (kN/m ³)	18 kN/m ³





Kund:	Test	Byggnadens del:	Test sula
Projekt:	Test		Hej
Arbetsnummer:	1		
		TYP AV GRUNDSULA	0
		Modulpunkter	0

DIMENSIONERING AV GRUNDSULA

Programversion 0.4

Dimensionering enligt Eurokod

Planerare:	Ben Tuomela	24.04.2015	Datum
Granskare:	Ben Tuomela	24.04.2015	Datum

1.2 Resultatredovisning

Utnyttjandegrad mot bottentryck	n_Rd	94%	
Utnyttjandegrad mot B/3	n_ex	0%	
Utnyttjandegrad mot stjälpning kring X-axel	n_ux	0%	
Utnyttjandegrad mot L/3	n_ey	55%	
Utnyttjandegrad mot stjälpning kring Y-axel	n_uy	37%	
Utnyttjandegrad mot glidning	n_u	13%	
Utnyttlandegrad för armering i X-led	n_As_x	46%	
Utnyttlandegrad för armering i Y-led	n_As_y	42%	
Utnyttjandegrad för skjuvkraft i x-led	n_Vd_x	53%	
Utnyttjandegrad för skjuvkraft i y-led	n_Vd_y	32%	
Utnyttjandegrad emot geomstansning	n_Vd_p	92%	
Sprickning längs x-axel	Wks_x	Sprickvidd överskrids	0,26 mm
Sprickning längs y-axel	Wks_y	Ok	0,00 mm
Förankrings typ		Bockad armering	
Förankring av armering i x-led enligt val		OK	
Förankring av armering i y-led enligt val		OK	

Utvärdering och jämförelse

Program jämförelse	Excel-tillämpningen Eurokod	Jämförelseprogramet Byggbestämelsesamlingen
Bottentryck	358 kPa	322 kPa
Moment som uppkommer	126 kNm	109 kNm
Utnyttjandegrad för armering	43 %	39 %
Genomstansning	66 %	74 %
Sprickbredd	spricker ej	0,1mm

Tabellen ovan visar skillnaden mellan det program man använder för tillfället och det nya ersättande programmet. Man kan konstatera att skillnader finns men att de är godtagbara.

Utvärdering från användarna:

Från de intervjuer jag utfört angående tillämpningens utseende och funktion har jag fått mycket positiv feedback. En del småsaker har de dock påpekats som exempelvis att skalningen i bildgeneratorerna skulle fungera bättre. På det sättet att axlarna inte är låsta och skalar med förhållande 1-1 i x- och y-led. Detta kan ej göras möjligt utan programmering i VBA och leder till att en knapp måste infogas i dokumentet som man måste trycka på varje gång man ändrar något av inmatningsdata. Detta försämrar tillämpningens funktion så vid mycket stora eller små konstruktioner måst man vid behov skala om axlarna manuellt för att göra bilderna tydliga. En annan kommentar var också att man skulle integrera utnyttjandegraderna på ett annat sätt för att göra det enklare när man matar in data så att man snabbare och enklare kan optimera tvärsnittet. Några förslag för hur detta skall förverkligas har jag inte fått men det är bra att veta vad som kunde förbättras på något sätt.